

УДК 66.047.1:663.1

РАСЧЕТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЦИКЛОННОГО ТИПА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РЯДА БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ МЕТОДОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ

Переяславцева Е.А. канд. техн. наук
Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

Представлен расчет и выбор типоразмера циклонных аппаратов конического типа промышленных распылительных установок РЦ-1,2 и СУМ-1,5, используемых для получения ряда бактериальных препаратов в порошкообразной форме.

The calculation and choice of cyclone industrial spray dryers РЦ-1, 2 and СУМ-1, 5, which are used for production of bacterial preparations «Биофацил», «Лактин-К» in powder form, are represented.

Ключевые слова: бактериальные препараты, распылительная сушка, дисперсность, сепарация.

Биологически активные препараты на основе микроорганизмов имеют широкие перспективы использования. Ассортимент такой продукции особенно для здравоохранения, ветеринарии, пищевой промышленности и сельского хозяйства постоянно расширяется. Наиболее удобной и эффективной формой хранения и использования бактериальных материалов в технологических процессах или непосредственно человеком является сухая форма. Существуют различные методы сушки бакпрепаратов, но приоритет отдается сублимационной сушке, так как она проходит при низких температурах, что важно для термолабильных продуктов. Однако процесс такой сушки является дорогостоящим. Поэтому для ряда продуктов (например «Биофацил» и «Лактин-К», которые используются как лекарственные и профилактические средства в медицине и ветеринарии) интерес представляет распылительный способ, имеющий ряд преимуществ: интенсивный тепло и массообмен; возможность организации непрерывного процесса; малая продолжительность пребывания материала в сушильной зоне аппарата (мгновенная сушка).

Биосуспензии бактериальных препаратов относятся к классу высоковлажных продуктов. Их начальная концентрация сухих веществ находится в пределах 12...20 %, что в процессе распылительного обезвоживания приводит к получению порошкообразного продукта с высокой степенью дисперсности. Мелкодисперсная фракция порошка, как известно, плохо улавливается в циклонах. Поэтому имеет место потеря продукта с отработанным теплоносителем.

Целью работы является проведение расчета и выбора типоразмера циклонных аппаратов конического типа промышленных распылительных установок РЦ-1,2 и СУМ-1,5, используемых при производстве порошкообразных форм препаратов «Биофацил», «Лактин-К», для увеличения выхода конечного продукта.

Такие параметры как вязкость, начальная концентрация сухих веществ продукта (C_0), температурные условия процесса сушки и конструктивные особенности используемых распылительных устройств позволяют нам управлять структурно-механическими и дисперсными характеристиками порошкообразного продукта. Эффективность сепарации частиц в циклонных аппаратах после распылительной сушки зависит от их размера и плотности. Между значениями плотности частицы и насыпной плотностью порошка существует зависимость. Анализ этих характеристик показывает, что насыпная плотность порошков исследуемых бактериальных препаратов находится в диапазоне 500...550 кг/м³. Средний размер частиц порошков колеблется в пределах 7...18 мкм и зависит от конструктивных характеристик сушилок, начальной концентрации биосуспензии перед сушкой, температурных режимов сушки и т.д.

Расчетные исследования минимальных диаметров частиц, улавливаемых в циклонных аппаратах, проводились по методике приведенной в [1]:

$$\delta_{\min} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\mu_v \cdot r_1 (1 + \alpha) \cdot \ln \alpha}{\pi \cdot \rho_q \cdot n \cdot v_v}} \quad (1)$$

где μ_v – динамическая вязкость воздуха при рабочих условиях, Па·с; ρ_q – плотность частицы порошка, кг/м³; v_v – скорость потока на входе в циклон, м/с; $\alpha = r_2 / r_1$, r_2 – радиус циклона, $r_1 = (d_{\text{тр}} + d_1)/4$; $n = h_{\text{тр}}/a$, $h_{\text{тр}}$ – высота выходной трубы, м; a – высота выхлопного патрубка, м.

Динамическая вязкость воздуха рассчитывалась по формуле:

$$\mu_g = \mu_o \frac{T_0 + C}{T + C} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \quad (2)$$

По [2] $\mu_o = 17,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $C=124$; $T_o = 273^\circ\text{K}$; $T = T_0 + T_{\text{вых}}$

Расчет μ_B проводим для 2-х вариантов значений температуры воздуха на выходе из сушилки (соответственно проведенным исследованиям):

$T_{\text{вых}} = 70^\circ\text{C}$ и $T_{\text{вых}} = 80^\circ\text{C}$. Тогда, $T' = 273+60=343$; $T'' = 273+80 = 353$

$\mu_g' = 20,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\mu_g'' = 20,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$

Микрофотографии полученных порошков исследуемых бактериальных препаратов позволили определить, что форма частиц продукта близка к сферической. По данным Г.М. Знаменского, для большинства сыпучих материалов сферической формы существует зависимость между насыпной плотностью порошка и плотностью частицы [3]:

$$\rho_{\text{ч}} = \frac{\rho_{\text{п}}}{0,576} \quad (3)$$

Расчетные значения плотности частицы по формуле (3) представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные значения плотности частицы порошкообразных бактериальных препаратов

Наименование препарата	Насыпная плотность, $\rho_{\text{п}}$, кг/м ³	Плотность частицы (расчетная), $\rho_{\text{ч}}$, кг/м ³	Концентрация с.в., %	Температурный режим сушки		Тип сушилки (тип распылителя)
				$T_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$	
Лактин-К	500	868	17,3	160	70	СУМ-1,5 (пневмофорсунка)
Бифацил	550	954	14,0	160	80	РЦ-1,2 (дисковый, ЦВ-36)

Проведем расчет δ_{min} , способных улавливаться в циклонном аппарате, серийно выпускаемом к распылительной установке РЦ-1,2, для препарата «Бифацил» (значения плотности частиц взяты из табл. 1). Конструктивные параметры циклонов, необходимые для проведения расчета представлены в табл. 2. и на рис.1.

Таблица 2 – Конструктивные параметры циклона, которым комплектуется сушилка РЦ-1,2

Параметр	Обозначение	Показатель
радиус циклона ($D_{\text{ц}}/2$), м	r_2	0,11
Размеры выхлопной трубы, м	$d_{\text{тр}}$	0,1
	d_1	0,1
$(d_{\text{мр}} + d_1)/4$, м	r_1	0,05
высота выходной трубы, м	h	0,25
высота патрубка, м	a	0,1
r_2 / r_1	α	2,2
h/a	n	2,5
расход воздуха, м ³ /ч	G	250
скорость газового потока на входе в циклон, $v_{\text{в}} = 4G/\pi a^2$, м/с	$v_{\text{в}}$	8,8

Так как температура теплоносителя на выходе из сушилки составляет $T_{\text{вых}} = 80^\circ\text{C}$, при проведении расчета используем показатель вязкости теплоносителя $\mu_g'' = 20,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

$$\delta_{\text{min}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{20,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05(1 + 2,2) \cdot \ln 2,2}{3,14 \cdot 954 \cdot 2,5 \cdot 8,8}} = 9,5 \text{ мкм}$$

Как видно из расчета минимальный размер частиц, которые улавливаются в циклоне – 9,5 мкм. Вероятность улавливания частиц меньшего размера снижена. Анализ дисперсионных характеристик порошкообразного препарата показывает: значения размеров частиц находятся в диапазоне 2...30 мкм, а 80 %

частиц имеет размер 7...10 мкм, что свидетельствует о не эффективности работы данного циклона для препарата «Бифацил».

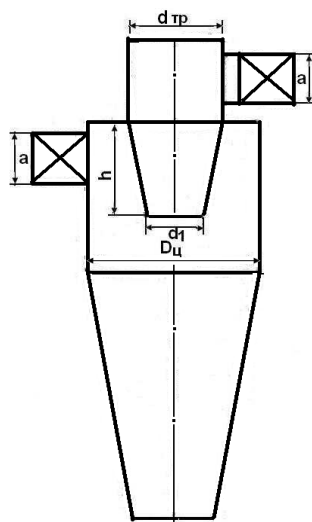


Рис. 1 – Основные конструктивные параметры циклона необходимые для расчета

Ниже приводятся конструктивные размеры другого циклонного аппарата (табл.3) и расчет δ_{\min} частиц, которые в нем улавливаются. Аппарат отличается размерами выходного патрубка и является предпочтительней, так как позволяет улавливать частицы, минимальный размер которых составляет 6,2...7,5 мкм.

Таблица 3 – Конструктивные параметры предлагаемого циклона для установки РЦ-1,2

Параметр	Обозначение	Показатель
радиус циклона ($D_{\text{ц}}/2$), м	r_2	0,11
Размеры выходной трубы, м	$d_{\text{гр}}$	0,14
	d_1	0,12
$(d_{\text{гр}} + d_1)/4$, м	r_1	0,065
высота выходной трубы, м	h	0,3
высота патрубка, м	a	0,095
r_2 / r_1	α	1,7
h/a	n	3,1
расход воздуха, м ³ /ч	G	250
скорость газового потока на входе в циклон, $v_{\text{в}} = 4G/\pi a^2$, м/с	$v_{\text{в}}$	9,8

$$\delta_{\min} = \delta_{\min} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{20,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,08(1+1,7) \cdot \ln 1,7}{3,14 \cdot 954 \cdot 3,1 \cdot 9,8}} = 6,2 \text{ мкм}$$

Аналогичный расчет проведен и для циклонного аппарата, которым комплектуется сушильная установка СУМ-1,5 с пневмофорсункой. На данной установке производится выпуск препарата «Лактин-К». Конструктивные параметры циклона и δ_{\min} приведены в табл. 4.

Существующий циклонный аппарат:

$$\delta_{\min} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\mu_{\text{в}} \cdot r_1 (1 + \alpha) \cdot \ln \alpha}{\pi \cdot \rho_{\text{в}} \cdot n \cdot v_{\text{в}}}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{20,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05(1+3) \cdot 1,09}{3,14 \cdot 868 \cdot 1,6 \cdot 12}} = 13,5 \text{ мкм}$$

Анализ дисперсных характеристик порошка данного препарата показывает, что количество частиц размером 9...12 мкм составляет до 85 %. Согласно расчету, часть порошка, частицы которого находятся в диапазоне 9...11 мкм, может не улавливаться данным аппаратом, и существует вероятность потери части порошка с отработанным теплоносителем.

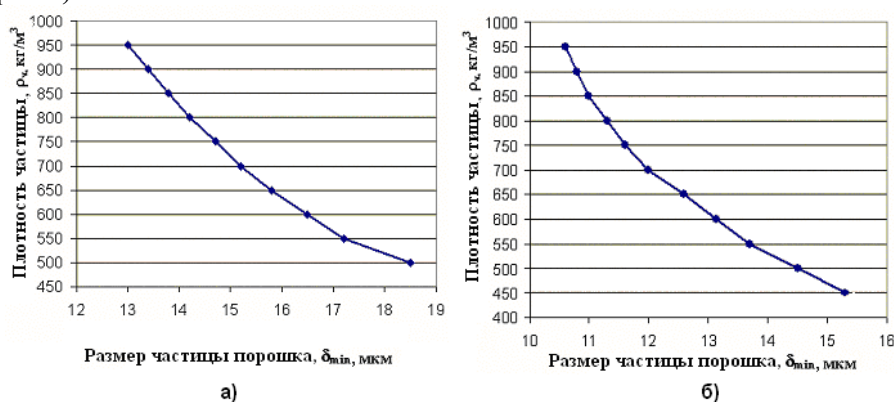
Расчет циклонного аппарата с большим диаметром циклона ($D_{\text{ц}}=0,4\text{м}$) показал возможность улавливания частиц размером 9 мкм, поэтому является более подходящим.

$$\delta_{\min} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\mu_g \cdot r_1 (1 + \alpha) \cdot \ln \alpha}{\pi \cdot \rho_c \cdot n \cdot v_g}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{20,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,097 (1 + 2,06) \cdot \ln 2,06}{3,14 \cdot 868 \cdot 2,5 \cdot 18,4}} = 8,9_{\text{мкм}}$$

Таблица 4 – Конструктивные параметры циклонов сушки СУМ-1,5

Параметр	Обозначение	Существующий	Предлагаемый
радиус циклона ($D_{\text{ц}}/2$), м	r_2	0,15	0,2
Размеры выхлопной трубы, м	$d_{\text{тр}}$ d_1	0,1 0,1	0,24 0,15
$(d_{\text{тр}} + d_1)/4$, м	r_1	0,05	0,097
высота выходной трубы, м	h	0,25	0,30
высота выхлопного патрубка, м	a	0,15	0,12
r_2 / r_1	α	3,0	2,06
$h_{\text{мр}} / a$	n	1,6	2,5
расход воздуха, м ³ /ч	G	750	750
скорость газового потока на входе в циклон, $v_B = 4G/\pi a^2$, м/с	v_B	12,0	18,4
Минимальный размер улавливаемых частиц, мкм	δ_{\min}	13,5	9

По результатам проведенных расчетов была определена зависимость граничного размера частицы от ее плотности (рис. 2).



а) сушилки РЦ-1,2; б) сушилки СУМ-1,5

Рис. 2 – Зависимость минимального размера частицы порошка от ее плотности при улавливании в циклоне

Выводы

Расчет эффективности работы циклонных аппаратов, которыми комплектуются промышленные распылительные установки РЦ-1,2 и СУМ-1,5 показал недостаточную эффективность работы циклонов для исследуемых препаратов, выпускаемых на этих сушильных установках. Для уменьшения потери конечного продукта с отработанным теплоносителем проведен выбор и расчет циклонных аппаратов, размеры конструктивных элементов которых позволяют улавливать частицы размером 7...10 мкм, которые рекомендуются для замены.

Литература

1. Лисин П.А., Иванов В.А., Полянский К.К., Мусатенко А.П. Циклонная очистка воздуха в молочной промышленности: теория и практика. – Омск: ОмГАУ, 2000. – 78 с.
2. Русанов А.А. Справочник по пыле- золоулавливанию: [Справочник] / А.А. Русинов. – М.: Энергия, 1975. – 296 с.
3. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 503 с.